



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Strömungssensor mit wenigstens einem Ultraschallwandler (A,B) zum Aussenden und Empfangen von Ultraschallsignalen (A0,B0) und einer am Ultraschallwandler (A,B) angeordneten Empfangseinheit (4), die einen Nulldurchgang (N) des Ultraschallsignals (A0,B0) als Empfangszeitpunkt detektiert, nachdem das Ultraschallsignal (A0,B0) einen vorgegebenen Schwellenwert (SW) überschritten hat. Die Messgenauigkeit des Sensors kann wesentlich verbessert werden, wenn die Empfangseinheit (4) den Zeitpunkt einer das Ultraschallsignal (A0,B0) kennzeichnenden Größe ermittelt und die relative zeitliche Verschiebung (Δt) der kennzeichnenden Größe ($\text{Amp}_{\text{max}}, T_s$) zu dem als Empfangszeitpunkt (t_0) detektierten Nulldurchgang (N_0 bzw. N_1) bestimmt.

5

Beschreibung

10

Bestimmung des Empfangszeitpunkts eines Ultraschallsignals
mittels Pulsformerfassung

15 Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Strömungssensor
gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie ein
Verfahren zur Bestimmung des Empfangszeitpunkts eines
Ultraschallsignals gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs
7.

20 Ultraschall-Strömungssensoren dienen insbesondere dazu, den
Volumen- oder Massestrom oder die Strömungsgeschwindigkeit
eines gasförmigen oder flüssigen Mediums zu messen, das durch
eine Rohrleitung strömt. Ein bekannter Typ von Ultraschall-
Strömungssensoren umfasst zwei in Strömungsrichtung versetzt
25 angeordnete Ultraschallwandler, die jeweils Ultraschall-
signale erzeugen und diese an den jeweils anderen
Ultraschallwandler aussenden. Die Ultraschallsignale werden
vom jeweils anderen Wandler empfangen und mittels einer
Elektronik ausgewertet. Der Laufzeitunterschied zwischen dem
30 Signal in Strömungsrichtung und dem Signal in Gegenrichtung
ist dabei ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit des
Fluids. Daraus kann die gewünschte Messgröße, wie z.B. ein
Volumen- oder Massestrom, berechnet werden.

35 Fig. 1 zeigt eine typische Anordnung eines Ultraschall-
Strömungssensors mit zwei Ultraschallwandlern A,B, die
innerhalb einer Rohrleitung 3 angeordnet sind und sich in
einem Abstand L gegenüberstehen. In der Rohrleitung 3 strömt
ein Fluid 1 mit einer Geschwindigkeit v in Richtung des
40 Pfeils 2. Die Messstrecke L ist gegenüber der
Strömungsrichtung 2 um einen Winkel α geneigt. Während einer

5 Messung senden sich die Ultraschallwandler A,B gegenseitig
Ultraschallsignale zu, die je nach Richtung von der Strömung
entweder verlangsamt oder beschleunigt werden. Die Laufzeiten
der Schallsignale sind dabei ein Maß für die zu bestimmende
Strömungsgeschwindigkeit.

10

Fig. 2 zeigt eine stark vereinfachte schematische Darstellung
einer Wandleranordnung mit einer daran angeschlossenen
Steuer- und Auswerteelektronik 4. Der Strömungssensor kann
z.B. nach dem sogenannten "sing-around"-Verfahren arbeiten.

15

Dabei wird durch den Empfang eines Ultraschallsignals A0 bzw.
B0 an einem der Wandler A,B unmittelbar ein Ultraschallsignal
in Gegenrichtung ausgelöst.

Für die Laufzeitmessung eines Ultraschallsignals A0 bzw. B0
20 ist es von wesentlicher Bedeutung, dass der Empfangszeitpunkt
des Ultraschallsignals A0,B0 eindeutig und genau bestimmt
wird. Ein aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren zur
Bestimmung eines Empfangszeitpunkts wird im Folgenden anhand
von Fig. 3 erläutert.

25

Fig. 3 zeigt den Signalverlauf eines einzelnen
Ultraschallsignals A0 bzw. B0. Der "Empfangszeitpunkt" des
Signals A0,B0 ist hier als der erste Nulldurchgang N_0 des
Signals definiert, nachdem die Signalamplitude Amp einen
30 vorgegebenen Schwellenwert SW (den sogenannten Pretrigger
Level) überschritten hat. In dem dargestellten Beispiel wäre
somit der Zeitpunkt t_0 der Empfangszeitpunkt des Signals.
(Der Empfangszeitpunkt des Signals könnte alternativ auch
anders, z.B. durch Auswertung der Phase des Signals bestimmt
35 werden.)

Verschmutzungen, Driften oder Alterung der
Ultraschallwandler, oder Turbulenzen im strömenden Fluid
können dazu führen, dass die Amplitude der Ultraschallsignale
40 A0,B0 stark variiert. Solange die Signalamplitude sich nicht
zu stark ändert, wird die Nulldurchgangsdetektion kaum

- 5 beeinträchtigt, da immer der gleiche Nulldurchgang (bezogen auf das gesamte Signal) als Empfangszeitpunkt detektiert wird und die Frequenz des Signals im wesentlichen gleich bleibt. Sobald die Amplitude der vor dem Zeitpunkt t_0 liegenden Halbwelle jedoch den Schwellenwert SW unterschreitet, kann es
- 10 zu Fehlmessungen des Empfangszeitpunkts kommen, da das Ultraschallsignal den Schwellenwert SW dann zu einem späteren Zeitpunkt überschreitet und somit ein falscher Nulldurchgang als Empfangszeitpunkt detektiert wird.
- 15 Fig. 4 zeigt den Signalverlauf des Ultraschallsignals A0,B0 bzw. Wandler-Ausgangssignals 5 mit verminderter Amplitude Amp. Dieses Signal übersteigt den festen Schwellenwert SW erst zu einem späteren Zeitpunkt. Die Empfangseinheit 4 ermittelt in diesem Fall den Nulldurchgang N_1 und damit einen
- 20 falschen Nulldurchgang N als Empfangszeitpunkt t_0 des Ultraschallsignals A0,B0. Die Laufzeitmessung des Ultraschallsignals A0,B0 verschiebt sich somit um ganzzahlige Vielfache von $\pm 1/f$ bzw. $\pm 1/(2f)$ (f =Ultraschallfrequenz), wodurch die Messgenauigkeit stark beeinträchtigt wird. Durch
- 25 starkes Anwachsen der Amplitude Amp des Ultraschallsignals A0,B0 bzw. des entsprechenden Wandler-Ausgangssignals 5 kann sich der detektierte Empfangszeitpunkt t_0 auch in Richtung früherer Nulldurchgänge N verschieben (nicht gezeigt).
- 30 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Messgenauigkeit eines Ultraschall-Strömungssensors bei stark schwankender Signalamplitude des Ultraschallsignals zu verbessern.
- 35 Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 sowie im Patentanspruch 7 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.
- 40 Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, den Zeitpunkt einer die Form des Ultraschallsignals

5 kennzeichnenden Größe (z.B. den Zeitpunkt der maximalen
Amplitude oder des Signalschwerpunkts oder des Schwerpunkts
der Hüllkurve) als Referenzzeitpunkt, einen Empfangszeitpunkt
(z.B. einen Nulldurchgang), sowie die relative zeitliche
Verschiebung des Referenzzeitpunkts zum Empfangszeitpunkt zu
10 ermitteln. Die zeitliche Verschiebung zwischen dem
Referenzzeitpunkt und dem Empfangsereignis bleibt
unverändert, so lange der Schwellenwert zwischen denselben
beiden Amplituden des Ultraschallsignals liegt. Ändert sich
die Amplitude des Ultraschallsignals bzw. des zugehörigen
15 Wandler-Ausgangssignals so stark, dass der Schwellenwert
zwischen zwei anderen Amplituden des Signals liegt, ändert
sich die Zeitdifferenz zwischen der kennzeichnenden Größe und
dem detektierten Empfangsereignis sprunghaft. Dies kann von
der Empfangseinheit des Ultraschall-Strömungssensors erkannt
20 und der Empfangszeitpunkt entsprechend korrigiert werden.

Die kennzeichnende Größe ist vorzugsweise eine Größe, die von
der Signalamplitude unabhängig ist, wie z.B. der Zeitpunkt
der maximalen Amplitude, des Signalschwerpunkts oder des
25 Schwerpunkts der Hüllkurve.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung
bestimmt der Zeitpunkt des Schwerpunkts der Hüllkurve den
Referenzzeitpunkt. Der zeitliche Schwerpunkt der Hüllkurve
30 kann z.B. in einer Prozessoreinheit nach folgender Beziehung
berechnet werden:

$$T_s \sim \sum_{k=1}^n k \cdot A(k) / \sum_{k=1}^n A(k),$$

35 wobei k ein Laufindex ist, der die Nummer der positiven
Halbwellen des Ultraschallsignals nach Überschreiten des
Schwellenwertes beschreibt. A(k) ist die Amplitude der k-ten
Halbwelle nach dem Überschreiten des Schwellenwerts
(Triggerzeitpunkt).

40

- 5 Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung umfasst die Empfangseinheit eine Einrichtung zur Bestimmung der maximalen Amplitude des Ultraschallsignals. In diesem Fall ist die kennzeichnende Größe die maximale Amplitude des Ultraschallsignals. Die Wahl der maximalen Amplitude des
- 10 Ultraschallsignals als Referenzzeitpunkt liefert prinzipiell das gleiche Ergebnis wie die Wahl des Schwerpunkts der Hüllkurve, unter der Voraussetzung, dass sich die Position der maximalen Amplitude relativ zu den anderen Amplituden nicht ändert. Verschiebt sich die Position der maximalen
- 15 Amplitude jedoch relativ zu den übrigen Amplituden, kann es zu Fehlmessungen kommen, da sich das Zeitintervall zwischen dem detektierten Empfangszeitpunkt t_0 und dem Referenzzeitpunkt um $n \cdot 2\pi$ verändert.
- 20 Die Empfangseinheit umfasst vorzugsweise einen Komparator, an dessen Eingang das vom Ultraschallwandler erzeugte Wandler-Ausgangssignal und ein Referenzsignal (z.B. eine Schwellenspannung) anliegt, wobei die Empfangseinheit aus dem Ausgangssignal des Komparators eine Information über den
- 25 Referenzzeitpunkt (z.B. Zeitpunkt der maximalen Amplitude oder des Schwerpunkts der Hüllkurve) ermittelt.

Das Empfangsereignis ist vorzugsweise ein Nulldurchgang, kann aber auch ein anderes vorgegebenes Kriterium sein.

30

Die Empfangseinheit ist vorzugsweise in der Lage, den Empfangszeitpunkt in Abhängigkeit von seiner zeitlichen Position zum Referenzzeitpunkt zu korrigieren.

- 35 Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen aus dem Stand der Technik bekannten Ultraschall-Strömungssensor mit zwei Ultraschallwandlern;

40

5 Fig. 2 einen Ultraschall-Strömungssensor mit zugehöriger
Steuer- und Empfangsschaltung;

Fig. 3 den Signalverlauf eines einzelnen Ultraschallsignals
mit großer Amplitude;

10

Fig. 4 den Signalverlauf eines einzelnen Ultraschallsignals
mit kleiner Amplitude;

Fig. 5 eine aus dem Stand der Technik bekannte Schaltung zur
15 Nulldurchgangsdetektion;

Fig. 6 einen typischen Verlauf des Signalschwerpunkts in
Abhängigkeit vom Verhältnis
Schwellenspannung/Signalamplitude; und

20

Fig. 7 den Verlauf des Schwerpunkts einer Hüllkurve des
Ultraschallsignals in Abhängigkeit vom Verhältnis
Schwellenspannung/Signalamplitude.

25 Bezüglich der Erläuterung der Fig. 1-4 wird auf die
Beschreibungseinleitung verwiesen.

Fig. 3 zeigt, wie erwähnt, die Bestimmung des
Empfangszeitpunkts t_0 eines Ultraschallsignals A0,B0 mittels
30 Nulldurchgangsdetektion. Dabei wird der erste Nulldurchgang
 N_0 des Signals A0 bzw. B0, nachdem das Signal A0,B0 einen
vorgegebenen Schwellenwert SW überschritten hat, als
Empfangszeitpunkt t_0 detektiert. (Wahlweise könnte auch ein
anderes Ereignis, z.B. das Überschreiten eines Schwellenwerts
35 als Empfangsereignis definiert werden.)

Die Empfangseinheit 4 (Fig. 2) ermittelt ferner den Zeitpunkt
 t_0 der maximalen Signalamplitude $A_{p_{max}}$ und die Zeitdifferenz
 Δt zwischen dem Empfangszeitpunkt t_0 und dem Zeitpunkt t_1 .
40 (Wahlweise kann auch der Zeitpunkt einer anderen

- 5 kennzeichnenden Größe, z.B. der Zeitpunkt des Schwerpunkts der Hüllkurve 6 als Referenzzeitpunkt t_1 ermittelt werden.)

Bei einer starken Änderung der Signalamplitude Amp des Ultraschallsignals (siehe Fig. 4) wird der falsche
10 Nulldurchgang (hier N_1) als Empfangszeitpunkt t_0 detektiert. Die Zeitdifferenz Δt ändert sich dadurch sprunghaft um ganzzahlige Vielfache von $1/f$ oder $1/(2f)$, wobei f die Ultraschallfrequenz ist. Dies wird von der Empfangseinheit 4 erkannt und der Empfangszeitpunkt t_0 entsprechend korrigiert.

15 Fig. 5 zeigt eine bekannte Logikschaltung zur Nulldurchgangsdetektion, mit der der Empfangszeitpunkt t_0 bestimmt werden kann. Die Schaltung umfasst einen ersten Komparator 10, an dessen Eingang (-) das Ultraschallsignal US
20 bzw. das entsprechende Wandler-Ausgangssignal 5 anliegt, und an dessen anderem Eingang (+) eine Schwellenspannung U_{sw} als Referenz zugeführt wird. Der Ausgang des Komparators 10 geht immer dann in den Zustand "high", wenn die Amplitude des Ultraschallsignals $A0, B0$ die Referenzspannung U_{sw}
25 überschreitet. Aus der Dauer der High-Phasen kann der Zeitpunkt der maximalen Amplitude Amp_{max} bestimmt werden.

Der zweite Komparator 11 von Fig. 5 dient zur Nulldurchgangsdetektion. Der zweite Komparator 11 erhält
30 hierzu an seinem positiven Eingang (+) das Ultraschallsignal US und an seinem negativen Eingang (-) eine entsprechende Referenzspannung (hier $0V$). Das Ausgangssignal K_1, K_2 der Komparatoren 10, 11 ist in Fig. 6 dargestellt.

35 Fig. 6 zeigt das pulswertenmodulierte Ausgangssignal K_1 des ersten Komparators 10. Die einzelnen High-Phasen des Signals K_1 können z.B. in verschiedenen Zählern gespeichert und ausgewertet werden. Die längste High-Phase indiziert dabei die maximale Amplitude Amp_{max} des Ultraschallsignals $A0$ bzw.
40 $B0$.

- 5 Das Komparator-Ausgangssignal könnte analog oder digital weiterverarbeitet oder arithmetisch bewertet werden. So könnte z.B. eine Kreuzkorrelation verschiedener Ausgangssignale K_1 durchgeführt werden.
- 10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Schwerpunkt T_s der Hüllkurve 6 des Ultraschallsignals A_0, B_0 als charakteristische Größe herangezogen, die in Relation zum detektierten Empfangszeitpunkt t_0 gesetzt wird. Der zeitliche Schwerpunkt der Hüllkurve 6 kann beispielsweise
- 15 aus folgender Beziehung ermittelt werden:

$$T_s \sim \sum_{k=1}^n k \cdot A(k) / \sum_{k=1}^n A(k),$$

- wobei k ein Laufindex ist, der die Nummer der positiven
- 20 Halbwellen des Ultraschallsignals nach Überschreiten des Schwellenwertes SW beschreibt. $A(k)$ ist dabei die Amplitude der k -ten Halbwelle nach dem Überschreiten des Schwellenwerts (Triggerzeitpunkt).
- 25 Fig. 7 zeigt den Verlauf des Signalschwerpunkts T_s in Abhängigkeit vom Verhältnis der Schwellenspannung USW zur Signalamplitude Amp . Immer dann, wenn sich die Amplitude Amp des Ultraschallsignals A_0, B_0 so stark ändert, dass der Schwellenwert USW eine Signalperiode früher oder später
- 30 überschritten wird, hat das Signal T_s einen Sprung.

- Da eine höhere Amplitude $A(k)$ auch eine größere High-Zeit des ersten Komparators 10 nach sich zieht, kann $A(k)$ in einer groben, aber ausreichend guten Näherung durch die High-Zeit
- 35 des Signals K_1 ersetzt werden. Die erste Summe der vorstehend genannten Gleichung kann ohne arithmetische Funktionen z.B. mittels eines Zählers realisiert werden, dessen Takteingang vom High-Pegel des pulsweitenmodulierten Komparator-Ausgangssignals K_1 freigeschaltet wird. Die Multiplikation
- 40 mit dem Laufindex k kann ohne Arithmetik erreicht werden,

- 5 indem die Taktfrequenz des Zählers bei jeder Halbwelle
entsprechend erhöht oder erniedrigt wird.

5

Bezugszeichenliste

10

1	Fluid
2	Strömungsrichtung
3	Rohrleitung
4	Steuer- und Auswerteeinheit
15 5	Wandler-Ausgangssignal
6	Hüllkurve
10	erster Komparator
11	zweiter Komparator
12	Monoflop
20 13	Verarbeitungseinheit
14	UND-Gatter
K_1	Komparator-Ausgangssignal
K_2	Komparator-Ausgangssignal
SW	Schwellenwert
25 A,B	Ultraschallwandler
A0,B0	Ultraschallsignale
Amp_{max}	maximale Amplitude
t_0	Empfangszeitpunkt
Δt	Zeitverschiebung
30 USW	Schwellenspannung
US	Ultraschallsignaleingang
T_s	Schwerpunkt der Hüllkurve

5

Patentansprüche

10

1. Ultraschall-Strömungssensor, umfassend

- wenigstens einen Ultraschallwandler (A,B) zum Aussenden und Empfangen von Ultraschallsignalen (A0,B0), und

15 - eine am Ultraschallwandler (A,B) angeschlossene Empfangseinheit (4), die ein vorgegebenes Ereignis (N) des Ultraschallsignals (A0,B0) als Empfangszeitpunkt (t_0) detektiert,

dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) derart realisiert ist, dass sie den Zeitpunkt (t_1) einer das

20 Ultraschallsignal (A0,B0) kennzeichnenden Größe (Amp_{max}, T_s), sowie die zeitliche Verschiebung (Δt) des Zeitpunkts (t_1) zum Empfangszeitpunkt (t_0) ermittelt.

25 2. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) eine maximale Amplitude (Amp_{max}) des Ultraschallsignals (A0,B0) als kennzeichnende Größe ermittelt.

30 3. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) die zeitliche Lage (T_s) des Schwerpunkts des Ultraschallsignals (A0,B0) oder seiner Hüllkurve (6) als kennzeichnende Größe bestimmt.

35 4. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) einen Komparator (10) umfasst, an dessen Eingang ein Wandler-Ausgangssignal (5) und ein Referenzsignal (SW) anliegt, und dass die Empfangseinheit (4) aus dem Ausgangssignal des Komparators (10) eine Information über den
40 Zeitpunkt (t_1) der kennzeichnenden Größe (Amp_{max}, T_s) ermittelt.

5

5. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das am Komparator (10) anliegende Referenzsignal ein Schwellenwert (SW) ungleich Null ist und das Ausgangssignal des Komparators (10) ein pulsweitenmoduliertes Signal (K1) ist, aus dem der Zeitpunkt (t_1) der kennzeichnenden Größe (Amp_{max}, T_s) ermittelt wird.

6. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Empfangszeitpunkt (t_0) in Abhängigkeit von der zeitlichen Verschiebung (Δt) korrigiert wird.

7. Verfahren zur Detektion eines Ultraschallsignals (A_0, B_0) an einem Ultraschallwandler (A,B) mittels einer Empfangseinheit (4), die ein vorgegebenes Ereignis (N) des Ultraschallsignals (A_0, B_0) als Empfangszeitpunkt (t_0) detektiert, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) den Zeitpunkt (t_1) einer das Ultraschallsignal (A_0, B_0) kennzeichnenden Größe (Amp_{max}, T_s), sowie die zeitliche Verschiebung (Δt) des Zeitpunkts (t_1) zum Empfangszeitpunkt (t_0) ermittelt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) eine maximale Amplitude (Amp_{max}) des Ultraschallsignals (A_0, B_0) als kennzeichnende Größe ermittelt.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (4) die zeitliche Lage des Schwerpunkts des Ultraschallsignals (A_0, B_0) oder seiner Hüllkurve (6) als kennzeichnende Größe bestimmt.

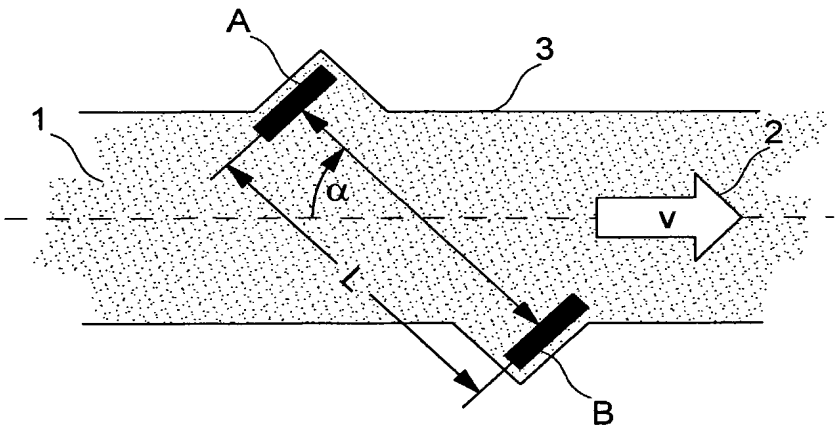


Fig. 1

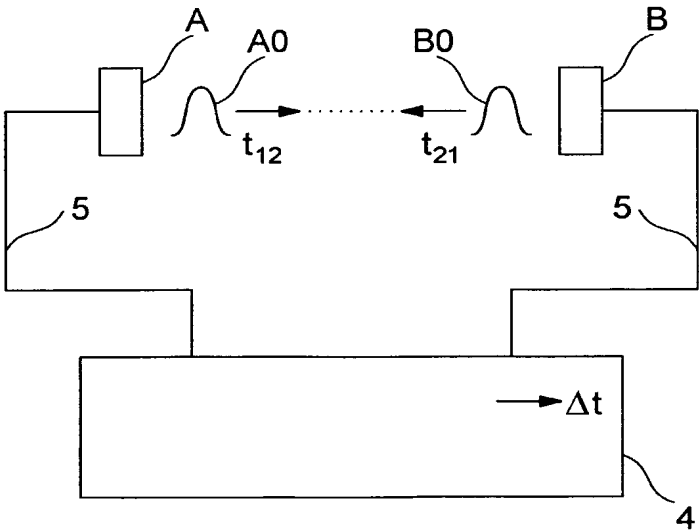


Fig. 2

2 / 4

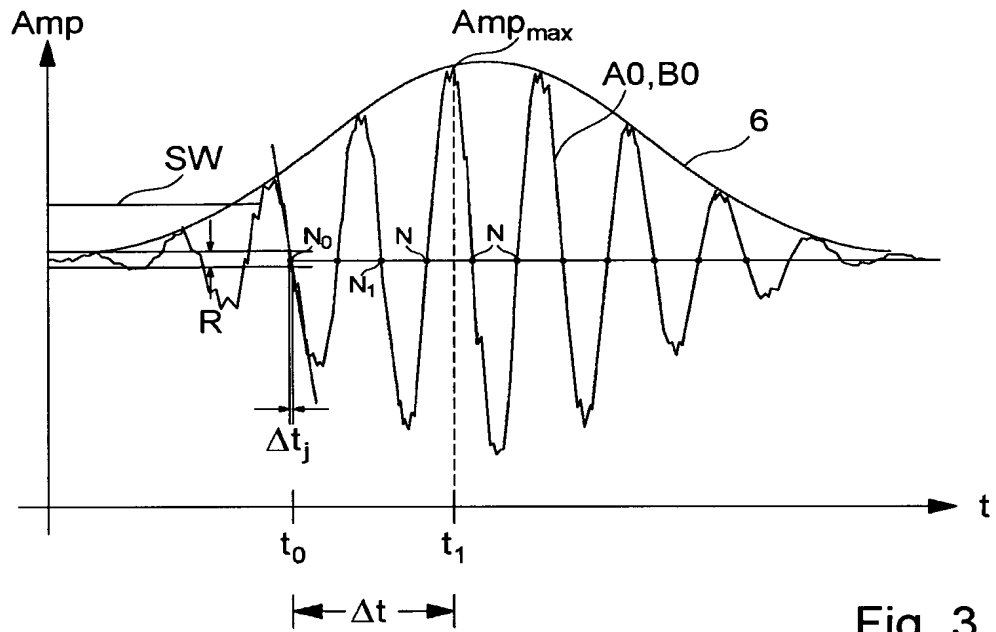


Fig. 3

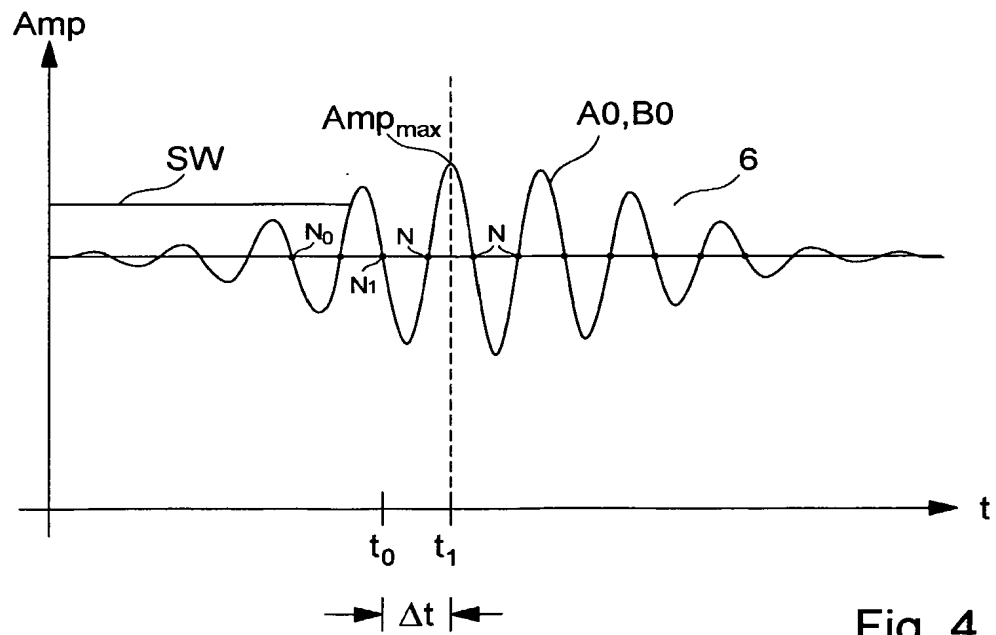


Fig. 4

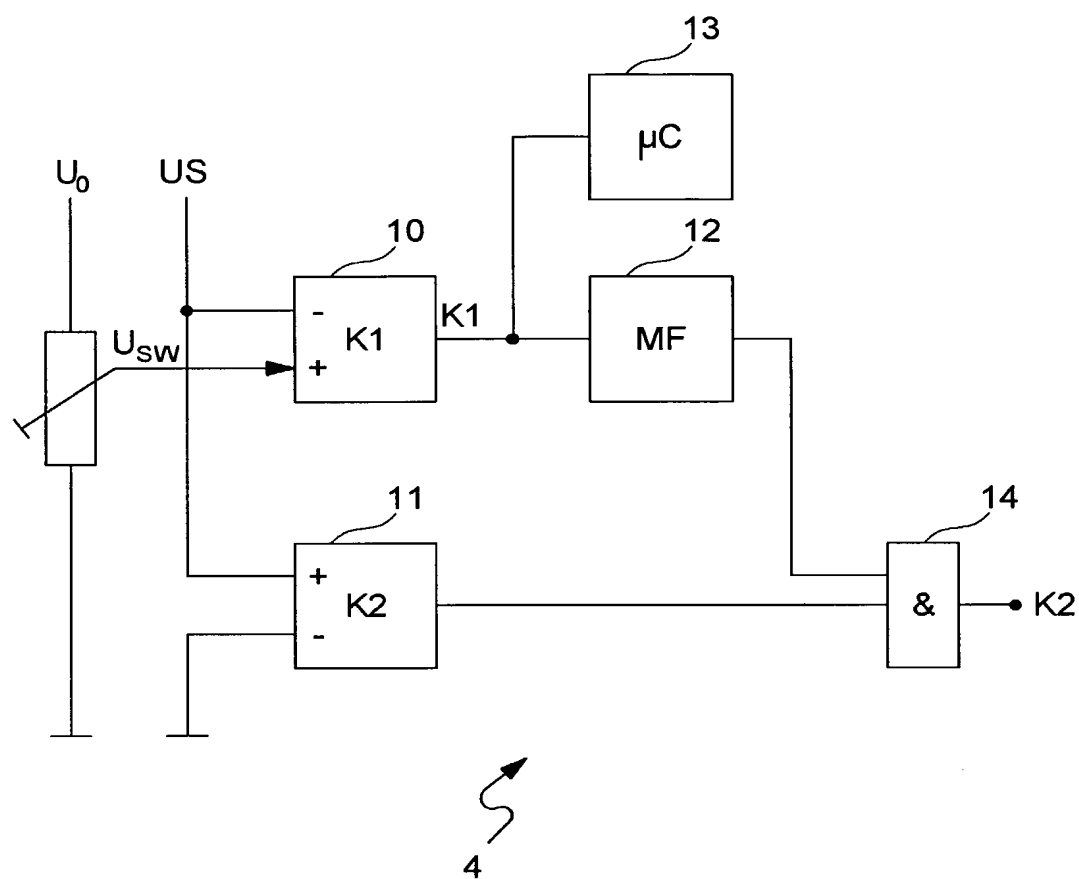


Fig. 5

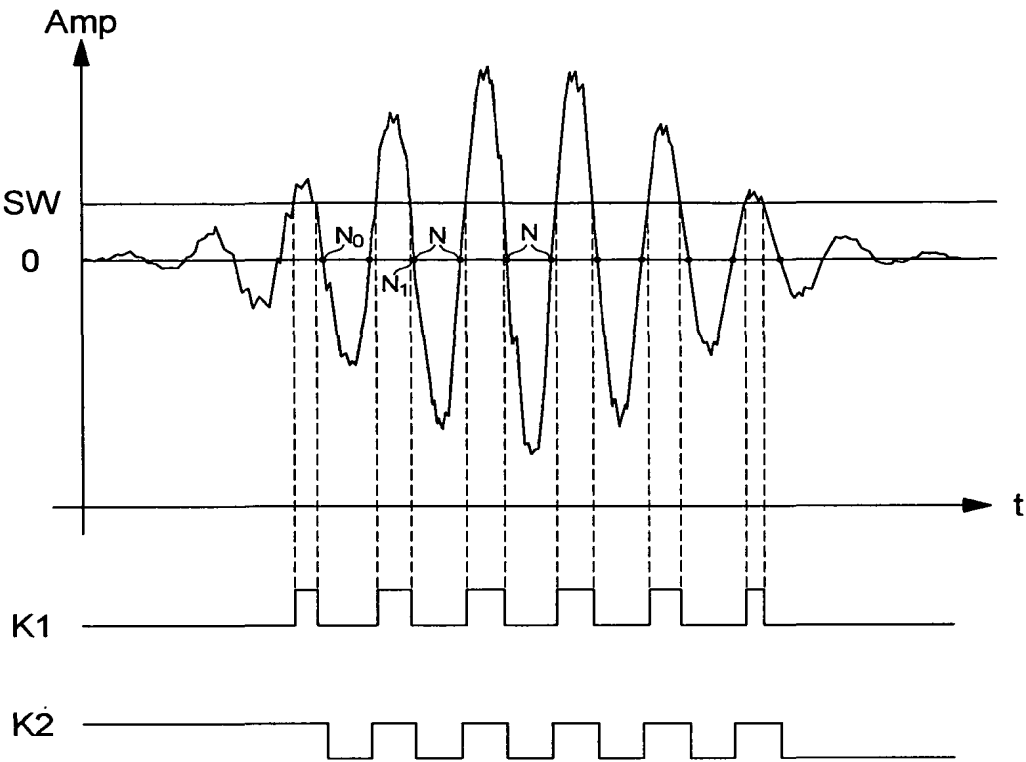


Fig. 6

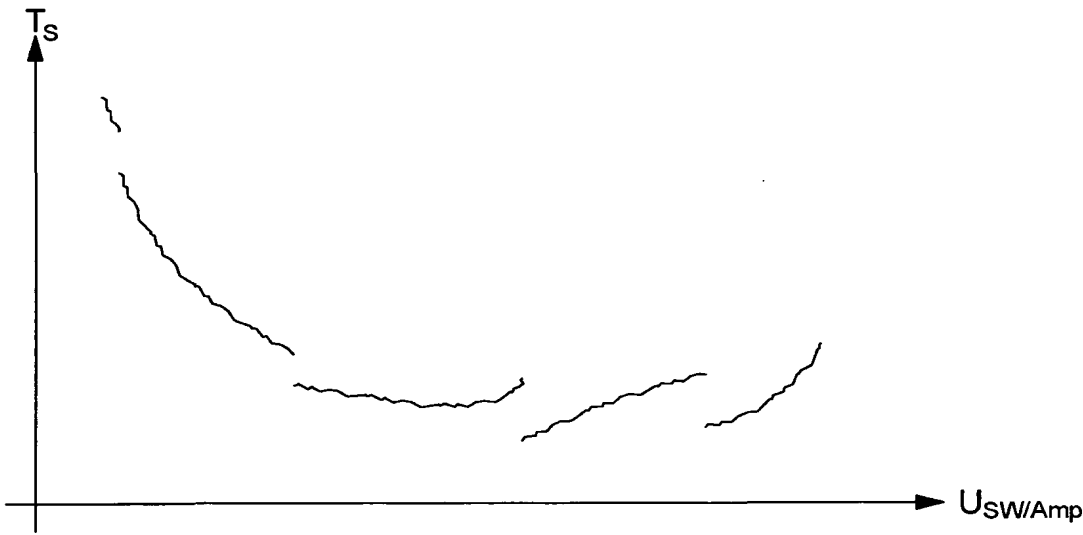


Fig. 7